

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23710204

研究課題名(和文)断層岩の直接年代測定による活断層の活動性評価

研究課題名(英文)Assessment of fault activity by direct dating of fault gouge

研究代表者

山崎 誠子(Yamasaki, Seiko)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・研究員

研究者番号：90555236

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、断層粘土の直接年代測定法の確立を目的として、断層試料からの粘土鉱物の高純度分離法を構築し、鉱物学的解析および感度法によるK-Ar年代測定を試みた。その結果、細粒の試料ほど若い年代が得られ、より低温(約100℃)で晶出する粘土鉱物の割合が高いことが明らかになった。しかし、さらに低温で晶出する鉱物についてはKを含まないため年代が検出できず、年代値は断層の最終活動年代ではなく、約100℃以上での活動の最終期と解釈することが妥当だという結論に至った。今後、断層帯での粘土鉱物の晶出や年代測定の前提条件について基礎研究が必要である。

研究成果の概要(英文)：Recent studies highlighted the potential to determine the age of faulting by using K-Ar dating of clay minerals in fault zone. However, the challenge remains difficult due to the possibility of contamination by old K-bearing minerals of the host rock. In order to establish a direct dating method for clay minerals in fault zone, precise clay separation combined with mineral characterization of fault gouge samples, and dating by unspiked K-Ar method was conducted. The finer fractions yield younger K-Ar ages, and contain larger amount of low-temperature type clay, suggesting enrichment in more recently grown clay minerals. Because K-Ar dating cannot detect no-potassium clay which formed <100 degree C, the ages mean the latest timing of faulting under >100 degree C temperature environment. Further fundamental studies about fault clay and requirements in dating are needed.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学

キーワード：活断層 粘土鉱物 年代測定

1. 研究開始当初の背景

断層がいつ動き、それに伴い熱や水がどのように発生・移動したかを明らかにすることは、断層帯の地殻変動特性や浸入流体による変質・弱線化のメカニズムを理解し、ひいては断層の活動性や巨大地震の再来周期等を評価するために重要な課題である。これまで、断層の活動時期の推定は、(1)断層による変位層と断層を被覆する層の年代を用いた上載地層法や、(2)断層運動により形成される地形の年代値推定に基づくものであった。しかし、これらの手法は、適切な変位・被覆層が見い出せない場合や、地形に反映されにくい場合、また、地震発生帯のような比較的深い地殻内部での断層を対象とする場合等には適用できない。そこで、近年、断層岩中の粘土鉱物の放射年代を直接求める試みが行なわれている。断層粘土の年代測定は Lyons and Snellenburg (1971)によって初めて試みられ、断層運動に伴う熱水活動により新たに生成した自生雲母粘土鉱物(図)の K-Ar 年代から、断層の活動時期が推定できる可能性が指摘された。国内でも中央構造線の断層岩について年代測定が行なわれた例(例えば、柴田・高木、1988)があるが、断層岩中から自生の雲母粘土鉱物のみを分離することが困難であり、より古い原岩の碎屑物が混入することで、意味のある年代値が得られないという問題があった。最近、地熱資源開発の分野では、碎屑物に比べて細粒の自生鉱物を高純度で回収するために、断層岩を従来法より細かくサイズ分別し、各フラクションの鉱物学的特徴を併せて K-Ar 年代値を解釈する試みがなされている(図1、例えば、Zwingmann and Manckeltow, 2004)。しかし、現状では未だ研究例は少なく、また大規模で数百万~数千万年の古い断層試料に限られているため、活断層のような若い活動の検出に向けて手法を高度化し、知見を蓄積していく必要がある。

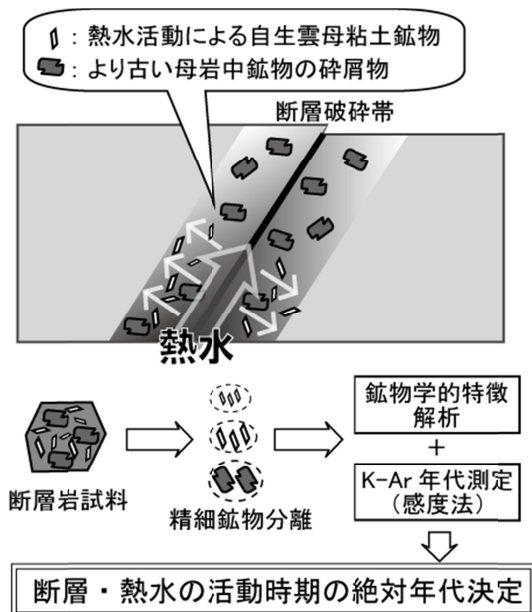


図1. 研究の背景および概要

2. 研究の目的

断層の活動時期の推定において、上載地層法や地形学的な手法の適用が困難な断層では、断層岩そのものを年代測定する必要があるが、従来、原岩の破碎物の混入等が原因で正確な断層活動時期を検出することは困難であった。そのため、本研究では、断層運動に伴う熱水活動により晶出した自生の雲母粘土鉱物を断層岩から高純度で分離する手法を確立するとともに、従来法より若い試料に適用可能な感度法によるカリウム-アルゴン(K-Ar)年代測定を試みる(図1)。これにより上載地層法が適用できない断層について数万~数十万年の活動性の評価を可能とする。

3. 研究の方法

(1) 自生粘土鉱物の高純度分離法の構築

超低温サーキュレーターおよび高速遠心分離機を用いて、断層岩中の自生の粘土鉱物の分離システムを構築し、純度評価のための鉱物学的解析を行った。研究対象として原岩について年代学的研究が進められている土岐花崗岩中の断層試料を用いる。超低温サーキュレーター中で凍結処理により丁寧に試料を粉砕し、水簸法により 2 $\mu$ m 以上の試料を分離した。さらに遠心分離法により <0.1 $\mu$ m、0.1~0.5 $\mu$ m、0.5~1 $\mu$ m、1~1.5 $\mu$ m、1.5~2 $\mu$ m に分級した。分離した各階級の試料について、粒度分布測定装置を用いて分離精度を確認し、最適な分離手順を決定した。

(2) 自生鉱物の純度評価のための鉱物学的解析

分離試料について、X線回折装置による鉱物組成解析や電子顕微鏡による表面構造・形態観察等により、自生鉱物と原岩の碎屑物の混合比や粘土鉱物の生成環境を評価した。

(3) 感度法による粘土鉱物の K-Ar 年代測定

分離試料に対して、炎光光度計および希ガス質量分析計を用いて感度法による K-Ar 年代測定を実施した。アルゴン定量においては、細粒・微量の試料測定のためのサンプルホルダーを設計・導入し、粘土鉱物からのガス抽出・精製条件を最適化した上で測定を実施した。年代値のキャリブレーションのための比較実験として同位体希釈法による K-Ar 年代測定を実施し、両測定法の適用範囲を評価するとともに、感度法による測定精度を確認した。

(4) 断層粘土の年代値の妥当性の検証と適用性の検討

断層破碎帯周辺の原岩の各種鉱物についての年代と併せることで、断層粘土の年代値の妥当性を評価した。さらに鉱物学的解析と地形学的・地質学的な見地も含めて、K-Ar 法による年代値が断層岩中の熱水活動時期として妥当であるか検討した。これまでの多く

の先行研究では、原岩に堆積岩由来の粘土鉱物が含まれることが多かったため、粘土鉱物が含まれない花崗岩を原岩とする断層試料を用いて、年代解釈の前提条件について議論した。

#### 4. 研究成果

(1) 自生粘土鉱物の高純度分離法の構築と  
 (2) 自生鉱物の純度評価のための鉱物学的解析においては、粘土鉱物学の専門家である豪州連邦産業科学研究機構の Zwingmann 博士の協力のもと、経験的に得られたノウハウを得て効率的に進めることができた。より細粒の分離試料には、低温下で短時間で晶出する特徴を示す粘土鉱物が多く含まれており、細かくサイズ分離することで自生の鉱物の純度が上がることを確認することができた。

(3) 数千万年前の試料について、感度法と同位体希釈法との比較実験の結果、計算法の違いから感度法による年代値における誤差はやや大きくなったものの、誤差範囲で一致する年代値が得られることを確認した。比較実験の結果について国際学会にて発表した。

(4) 分離試料のうち細粒のものほど若い年代値を示し、より浅部で晶出した自生鉱物が高純度に含まれるという鉱物学的解析による結果と整合的であった。また、従来法で用いられていた試料サイズの年代よりも若い年代まで捉えることができ、幅を持って活動時期を評価できる可能性がある。土岐花崗岩中の試料について、原岩中の各種鉱物の年代と年代測定における閉鎖温度を組み合わせ、断層周辺の熱履歴を復元し、断層粘土の年代を評価した結果、原岩の花崗岩が脆性破壊する 300 以下の温度まで冷えた後に断層・熱水活動が起こったと解釈でき、断層粘土の年代値が妥当であると考えられる(図2)。土岐花崗岩中の断層試料についての結果は国際誌にて公表した。

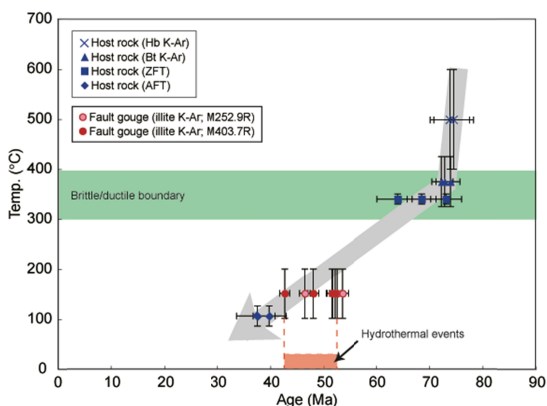


図 2. 土岐花崗岩体の冷却曲線と断層粘土の年代測定結果。青シンボルは原岩の各種鉱物、赤シンボルは粘土の年代値と各種年代測定の閉鎖温度を示す(Yamasaki et al., 2013)。

さらに、鉱物学的解析の結果、従来は原岩由来とされていた高温型の粘土鉱物も含まれており、花崗岩では原岩には粘土鉱物は含まれないため、断層運動に伴って流入する熱水の温度によって、高温型の粘土も晶出することが明らかになった。この結果は、従来の年代解釈法の前提条件を大きく変えるものであり、今後さらに基礎実験等により検討が必要である。また、細粒試料には K-Ar 年代値に反映されないカリウムを含まない粘土鉱物も多く含まれていることが明らかになり、得られた最も若い年代値そのものが断層の最終活動時期と解釈できないことがわかった。歴史上の活動が確認されている有馬-高槻構造線の断層試料についても、細粒フラクションについて予想より遥かに古い約 20~30Ma の K-Ar 年代値が得られた。この年代は原岩の碎屑物の混入では説明できず、カリウムを含む対象鉱物を生成する温度帯で活動した最終時期を示していると解釈するのが妥当だろう。当初の目的では断層の最終活動時期を検出できると予想していたが、試料から得られる年代の解釈のためには様々な検討が必要であり、断層帯の複雑な物質循環と熱環境、年代測定の前提条件についてもさらに今後検討が必要である。なお、有馬-高槻構造線についての成果は国際誌に投稿準備中である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

S.Yamasaki, H.Zwingmann, K.Yamada, T.Tagami, K.Umeda, Constraining the timing of brittle deformation and faulting in the Toki granite, central Japan, *Chemical Geology*, 査読有, 351, 2013, 168-174

山崎誠子, 山田国見, 田上高広, H.Zwingmann, 断層粘土の K-Ar 年代測定 ~ 自生鉱物の高純度分離手法と研究例 ~, *フィッション・トラック ニュースレター*, 査読無, 第 26 号, 2013, 6-8

S.Yamasaki, H.Zwingmann, T.Tagami, Intermethod Comparison for K-Ar dating of Clay Gouge, *Mineralogical Magazine*, 査読無, 77, 2013, 2542

S.Yamasaki, H.Zwingmann, K.Yamada, K.Umeda, T.Tagami, New Time Constraints on brittle faulting in Toki Granite, central Japan, *Mineralogical Magazine*, 査読無, 76, 2012, 2564

H.Zwingmann, N.Mancktelow, G.Viola,

J.Pleuger, S.Yamasaki, T.Tagami,  
Brittle fault dating from the  
Mesoproterozoic to the Neogene,  
Mineralogical Magazine, 査読無, 76,  
2012, 2606

S.Yamasaki, H.Zwingmann, A.Todd,  
K.Yamada, K.Umeda, T.Tagami,  
Constraining timing of brittle  
deformation - A case study from fault  
zones in Toki Granite, Japan, 査読無,  
Mineralogical Magazine, 75, 2011,  
2204

〔学会発表〕(計6件)

S.Yamasaki, H.Zwingmann, T.Tagami,  
Intermethod Comparison for K-Ar  
dating of Clay Gouge, 2013/8/25-30,  
Goldschmidt Conference, Florence

山崎誠子, 山田国見, 田上高広,  
H.Zwingmann,断層粘土のK-Ar年代測定  
～自生鉱物の高純度分離手法と研究例  
～, 2013, フィッション・トラック研究会

S.Yamasaki, H.Zwingmann, K.Yamada,  
K.Umeda, T.Tagami, New Time  
Constraints on brittle faulting in  
the Toki Granite, central Japan,  
2012/6/24-29, Goldschmidt Conference,  
Montreal

H.Zwingmann, N.Mancktelow, G.Viola,  
J.Pleuger, S.Yamasaki, T.Tagami,  
Brittle fault dating from the  
Mesoproterozoic to the Neogene,  
2012/6/24-29, Goldschmidt Conference,  
Montreal

山崎誠子, 山田国見, 田上高広,  
H.Zwingmann,断層ガウジ中の細粒雲母  
粘土鉱物のK-Ar年代法への適用, 日本  
地球惑星科学連合大会 2011/5/22-27,  
SGL041-02

S.Yamasaki, H.Zwingmann, A.Todd,  
K.Yamada, K.Umeda, T.Tagami,  
Constraining timing of brittle  
deformation - A case study from fault  
zones in Toki Granite, Japan,  
2011/8/14-19, Goldschmidt Conference,  
Prague

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山崎誠子(YAMASAKI, Seiko)  
産業技術総合研究所・地質情報研究部門  
研究者番号: 90555236

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

( )

研究者番号: